

# 压力分散型锚索锚固段力学性能试验研究

张 勇<sup>1</sup>, 赵红玲<sup>2</sup>, 张向阳<sup>1</sup>

(1. 总参工程兵科研三所, 河南 洛阳 471023; 2. 洛阳理工学院 土木工程系, 河南 洛阳 471023)

**摘要:** 对压力分散型锚索锚固段力学性能进行现场试验, 并对试验锚索进行回收。对锚固段应力分布状态进行观测, 根据试验结果拟合出压力分散型锚索锚固段应变分布方程和轴力分布方程。现场试验和理论分析证明, 其独特的结构型式决定其具有可靠的防腐蚀性能, 其承载能力和锚固性能均优于传统的拉力型锚索。另外, 压力分散型锚索还具有可回收性, 很好地解决城市中锚索超越“红线”施工的问题, 在城市深基坑加固工程中必将得到广泛应用。

**关键词:** 采矿工程; 压力分散型锚索; 试验研究; 锚固段; 回收

**中图分类号:** TD 32

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6915(2010)增 1-3052-05

## TEST STUDY OF MECHANICAL PERFORMANCES OF ANCHORAGE ZONE OF PRESSURE DISPERSION ANCHOR CABLE STYLE

ZHANG Yong<sup>1</sup>, ZHAO Hongling<sup>2</sup>, ZHANG Xiangyang<sup>1</sup>

(1. The Third Research Institute of the Corps of Engineers, General Staff of PLA, Luoyang, Henan 471023, China;

2. Department of Civil Engineering, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China)

**Abstract:** The field tests are performed in the anchorage zone of pressure dispersion anchor cable style and the cables are reclaimed. The stress distribution state on the anchorage zone is observed and the equations of the strain and axial force on the anchorage zone are obtained. Field test and the theoretical analysis both show that the unique structure form is a determinant factor for its credible corrosion protection capability, and its bearing capacity and anchoring characters are entirely better than the traditional tension cable style. Otherwise, this cable style has the reclaimable function that has better problem-solving ability of cable overpass allowable scope and can be extensively used in the city foundation pit reinforcement engineering.

**Key words:** mining engineering; pressure dispersion anchor cable; test study; anchorage zone; reclaim

## 1 引 言

目前常用的锚索大多为拉力型锚索。国内外的大量研究证实, 拉力型锚索沿锚固段的黏结应力分布极不均匀, 锚固段近端的应力集中现象非常严重; 并且随着锚索荷载的增大, 锚固段的杆体与注浆体界面和注浆体与地层界面上会产生渐进性破坏现象, 这种渐进性破坏不仅会大大降低地层强度的利

用率, 造成锚固段长度浪费, 而且会降低锚固系统的永久性。另外, 在软岩和土体中, 当锚固长度大于 8~10 m 后, 锚固段长度的增加对锚索的承载力不再发挥作用, 所以传统的拉力型锚索无法在软弱地层中获得较高的锚固力。

工程需要是锚固技术发展的动力, 工程实践是促进、完善、发展锚固技术的根本途径<sup>[1]</sup>。压力分散型锚索正是在拉力型锚索的受力性能不尽合理和在软弱地层中无法实现较大的承载力的情况下应运

收稿日期: 2009-02-24; 修回日期: 2009-04-15

作者简介: 张 勇(1961-), 男, 1983 年毕业于南京工程兵工程学院建筑施工专业, 现为高级工程师、总参郑州创新工作站首批进站专家, 主要从事预应力锚索加固技术方面的研究工作。E-mail: zhangyongly@126.com

而生的。

为了较好地解决拉力型锚索存在的缺陷，英国人 Tony Barley 通过试验研究，提出了单孔复合锚固系统的概念。1988 年，压力分散型锚索商业应用于英国 Southampton 的一黏土地层中。几乎是在同一时期，日本 KTB 协会在多年研究永久性锚索技术的基础上，开发出了 KTB 压缩分散型锚固工法，并在日本的边坡加固工程中被广泛采用<sup>[2]</sup>。大量工程实践证明，在软弱地层中，压力分散型锚索的承载力是拉力型锚索的 2~3 倍，甚至 4~5 倍<sup>[3]</sup>，该类锚索具有良好地防腐蚀性能，此外，还可作为临时加固工程的可回收锚索使用。

相对国外而言，国内在这方面的应用和研究起步较晚，直到 20 世纪 90 年代以来，压力分散型锚索才开始在国内的一些工程中得到应用，并取得了一些进展。1997 年北京中银大厦基坑工程是该技术在我国大陆地区的成功应用，目前，压力分散型锚索已在国内的基坑与边坡工程中共使用了约 20 000 余个单元，在我国的台湾地区也得到了较广泛应用，

台湾大地工程有限公司已完成该类锚索的总长度约 80 000 m，其中主要是用于基坑工程的可回收式锚索<sup>[4~8]</sup>。

2 现场试验

试验场地位于一土质边坡中，该边坡近乎直立，坡高约 11 m，坡后部山体厚度约 50 m，边坡处于长期稳定状态。对锚索孔同一高程处人工采取原状土样进行了室内土工试验，根据土工试验结果，现场土质为黄土状粉质黏土，土样的物理力学参数见表 1。土层的天然重度  $\gamma = 16.0 \sim 16.2 \text{ kN/m}^3$ ，土体的黏聚力  $c = 71 \sim 118 \text{ kPa}$ ，内摩擦角  $\varphi = 21.78^\circ \sim 16.02^\circ$ ，三轴不固结排水剪切试验结果见图 1。

2.1 试验锚索

试验锚索采用总参工程兵科研三所自行研制的压力分散型锚索，本次试验的锚索为两级承载体(见图 2)，承载体间距 4 m，锚索总长度 30 m，本次试验锚索数量为 3 根。

表 1 土样的物理力学参数  
Table 1 Physico-mechanical parameters of soil sample

土样 编号	含水量 w/%	天然重度 $\gamma(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	干容重 $\gamma_0$ $/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	相对密度 G	孔隙比 e	饱和度 $S_r/\%$	孔隙度 n/%	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_P/\%$	塑性指 数 $I_P$	液性 指数 $I_L$	含水比 $u$	三轴试验	
													内摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	黏聚力 c/kPa
2-1	12.6	16.2	14.4	2.71	0.884	39	47	29.5	19.4	10.1	<0	0.43	16.02	118
2-2	14.6	16.0	14.0	2.71	0.941	42	48	30.0	19.6	10.4	<0	0.49	21.78	71

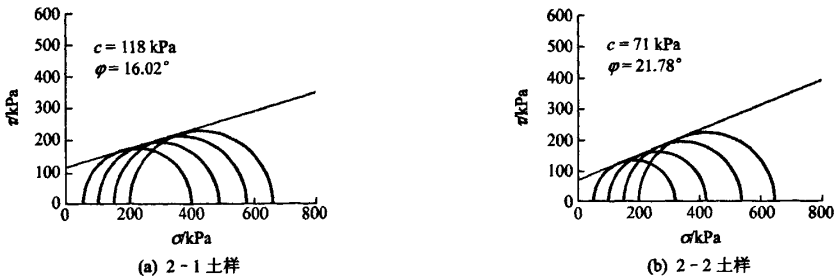


图 1 三轴不固结排水剪切试验结果  
Fig.1 Consolidated undrained triaxial shear test result

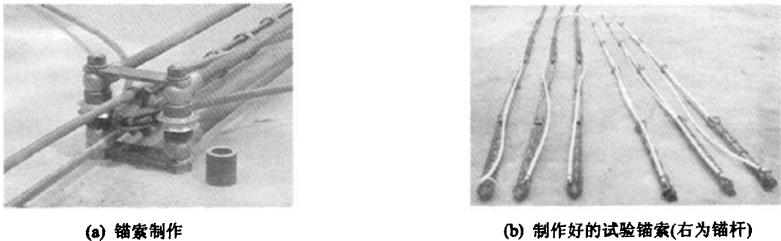


图 2 压力分散型锚索  
Fig.2 Pressure dispersion anchor cable style

在每一级承载体上布置应变片量测锚索锚固段应变随荷载变化情况。应变片在承载体钢筋笼上间隔 200 mm 均匀布置, 为了消除偏心受压的影响, 每一个截面对称布置 2 个应变片, 每一个承载体钢筋笼上共布置 10 个应变片。应变片测点的位置和编号见图 3。

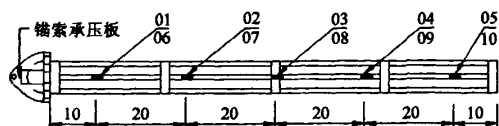


图3 应变片测点的位置和编号(单位: cm)

Fig.3 Strain gauge measuring point position and serial number(unit: cm)

## 2.2 锚索张拉和观测

由于压力分散型锚索各级钢绞线的长度不等, 为了避免锚索体各钢绞线之间的应力不均匀现象, 所以不能采用象普通锚索那样的整体张拉方法, 而采用每一级锚索两根钢绞线同时张拉、各级锚索循环张拉的方法, 这样可以用张拉荷载控制各级锚索体钢绞线内应力的均匀性。

考虑到在张拉第一级锚索时会对第二级锚索的应力产生影响, 反之, 在张拉第二级锚索时也会对第一级锚索的应力产生影响, 为了评估张拉锚索应力的相互影响, 在本次试验中分别使用了如下分级循环的张拉方法:

- (1) 张拉第一级锚索→锁定→张拉第二级锚索;
- (2) 张拉第二级锚索→锁定→张拉第一级锚索。

按照规范要求、采用分级循环的张拉方法。张拉的基础荷载为 50 kN, 荷载增量 50 kN, 每级荷载的稳压时间为 1 min, 达到每一级循环的最大荷载时稳压 15 min, 在每一级荷载稳定后测读锚索的位移, 并在每一级最大试验荷载的 1/3 处稳压同时测读其位移数据。

## 2.3 试验测试结果分析

现场试验测量出了锚索承载体部分的应变随张拉荷载的变化和分布情况, 张拉时, 注浆体均不同程度地存在偏心受压现象, 由此可以推断, 在整个注浆体受力断面上, 应变分布也存在一定差异, 为分析方便, 分别取对称的两个应变值的平均值作为该断面的应变值。

根据试验结果拟合, 锚索注浆体内的应变分布近似符合下述方程:

$$\varepsilon(x) = \frac{4P_0}{\pi d^2 E_g} e^{-\lambda x} \quad (1)$$

式中:  $\varepsilon(x)$  为距离承压板  $x$  处锚固段注浆体的轴向应变,  $P_0$  为单元锚索所承受的外荷载,  $x$  为注浆体上某点至承压板的距离,  $d$  为注浆体直径,  $E_g$  为注浆体的弹性模量,  $\lambda$  为与外荷载  $P_0$  相关的系数。

通过对实测的应变数据进行换算, 可得到锚索注浆体内的轴力分布。从测试情况来看, 在最大荷载下锚固段注浆体处于弹性状态, 因此可以利用虎克定律由下式计算出各个测点处截面上的轴力:

$$N_x = \varepsilon_x EA \quad (2)$$

式中:  $N_x$  为距离承压板  $x$  处锚固段注浆体的轴力,  $E$  为锚固段注浆体的弹性模量,  $A$  为锚固段注浆体的承压面积。

图 4 为锚索张拉时锚固段单元上的应变分布, 图 5 为轴力分布曲线。

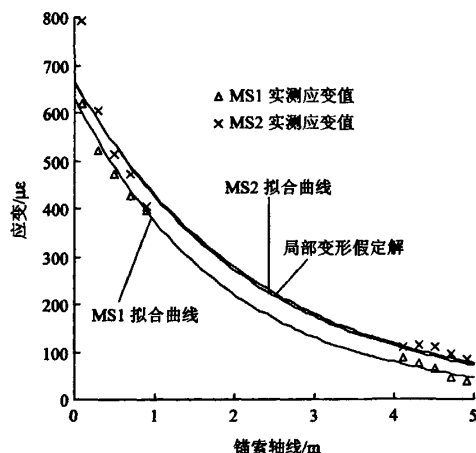


图4 锚索张拉时锚固段单元上的应变分布

Fig.4 Strain distribution state on the anchorage zone when pulling the anchor cable

图 4、5(a)显示, 对锚索施加荷载后, 锚索锚固段单元上的应变和应力随着距离承压板距离的迅速衰减, 在距离承压板 1.0 m 的承载体末端, 已经衰减到不足最大值的 50%。在距离第一级承压板 4.0 m 的第二级承压板处, 已经衰减到不足最大值的 20%。虽然在 4 m 长度的单元锚固段上锚索的荷载强度差异较大, 由于承载体抗压强度大、承受了单元体上的大部分荷载, 所以可确保锚固段各部分注浆体不受破坏。

图 5(b)显示, 随着第二级单元荷载的增加, 第一级单元体上的荷载相应减小, 但是影响程度非常小。锚索完成张拉后锚固段上的轴力分布情况显示,

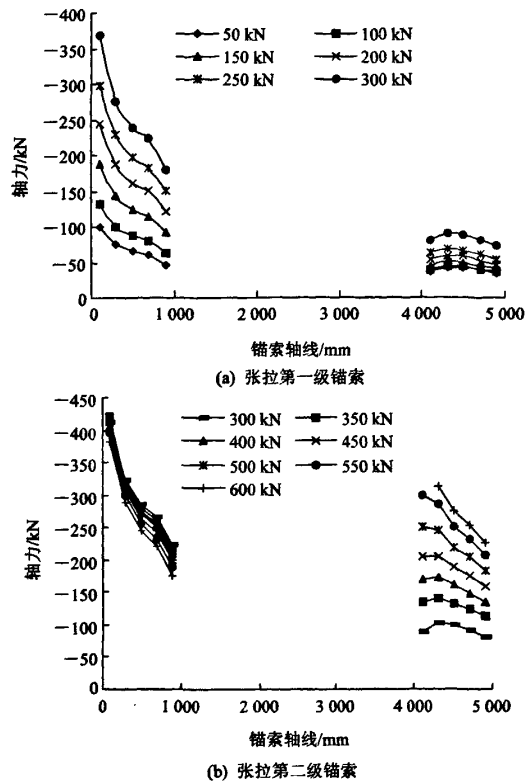


图 5 轴力分布曲线  
Fig.5 Axial force distribution curves

锚索 600 kN 的荷载被 2 个锚固段单元均匀承受。毋庸置疑,与承受相同荷载的拉力型锚索相比较,压力分散型锚索大大减小了锚固段的峰值荷载,同时增强了锚索承载能力的安全储备。

2.4 锚索回收试验

本试验完成后,对锚索进行了回收。从试验结果来看,锚索正常的回收力为 12.5~15.0 kN,最大回收力为 26~37 kN(疑是试验荷载过大承载体破坏)。图 6 为压力分散型锚索的回收试验情景,表 2 为锚索的试验荷载和回收力。3 根锚索均是第一级单元锚索体的回收力相对较大,但都比较顺利地实现了锚索体的回收。

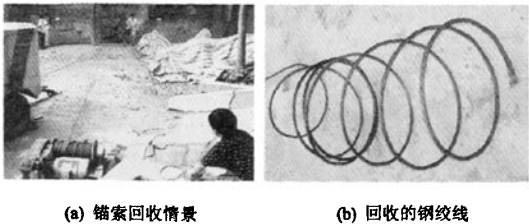


图 6 压力分散型锚索的回收试验情景  
Fig.6 Scene of pressure dispersion anchor cable style reclaim test

表 2 锚索的试验荷载和回收力  
Table 2 test load and reclaim force

锚索编号	锚索长度/m	试验荷载 /kN	最大荷载 /kN	最大回收力 /kN
MS1	MS1 - 1	15	300	37.0
	MS1 - 2	11	350	14.4
MS2	MS2 - 1	15	300	26.0
	MS2 - 2	11	300	12.5
MS3	MS3 - 1	15	250	24.5
	MS3 - 2	11	250	12.3

3 讨 论

本次试验除了对不同荷载下压力分散型锚索锚固段的应变分布和变化情况进行了观测,以还对锚索的荷载位移进行了观测,以评价锚索的锚固性能。试验区域的地层为粉质黏土,试验结果显示,钢筋笼承载体的容许承载力约为 250 kN 左右,所以单级锚索在 300 kN 以上的试验荷载下,部分近邻承压板的注浆体可能已遭破坏,所以导致各级锚索回收力的较大差异,但都比较顺利地实现了锚索体的回收。所以在该类地层中,单根锚索的容许承载力  $T_w \approx 250n$  kN( $n$  为承载体个数)。如果要提高单根锚索的锚固力,可以采用多级单元锚索。本次现场试验采用两级单元,锚索的安全锚固力为 500~550 kN,根据工程经验判断,拉力型锚索在相同地层中实现如此大的承载力是非常困难的。

4 结 论

压力分散型锚索是近年来在加固工程中出现的新型锚索,在国外加固工程中已经有 20 a 的使用历史,在国内也有近 10 a 的发展历史。在对该项技术进行研究的同时,不少工程也都成功地使用了压力分散型锚索<sup>[9~12]</sup>。

与拉力型锚索比较,压力分散型锚索锚固段应力分布均匀,峰值荷载约为拉力型锚索的 50%,所以其锚固性能更加可靠,特别是在软弱破碎地层中的承载能力是拉力型锚索不能达到的。

压力分散型锚索的注浆体全长受压,可以充分发挥水泥质材料抗压强度高和钢绞线抗拉强度高的优势,不会象拉力型锚索那样在锚固段注浆体上产生裂缝,另外,压力分散型锚索体全长均在 PC 套管和防腐油脂的保护之下,对锚索体的永久性非常

有利。

由于压力分散型锚索各单元长度的差异而导致的荷载不均匀,一直是工程界议论的焦点。不少人认为压力分散型锚索不能在永久性加固工程中使用,甚至对该锚索持否认的态度,从而影响了压力分散型锚索的推广使用。

事实上,由多股钢绞线组成的拉力型锚索同样存在荷载不均匀系数。试验研究结果<sup>[13]</sup>显示,由于组成锚索体的各股钢绞线初始状态的差异和锚具夹片性能的差异等因素的影响,在整体张拉施加预应力时,各钢绞线之间的最大荷载不均匀系数也达到了0.5%左右。通过对压力分散型锚索荷载不均匀系数分析和探讨,证明通过张拉工艺的调整,可以将锚索荷载不均匀系数降低到最小,以满足工程使用的需要。

大量工程实践表明,压力分散型锚索几乎是临时加固工程中用于可回收锚索的唯一选择,由于具有合理的结构型式、科学的受力机制和可靠的防腐性能,同样可以在永久性加固工程中发挥作用。

## 参考文献(References):

- [1] 梁炯奎. 锚固技术十年发展与展望[M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1998.(LIANG Jiongkui. Development and prospect of anchorage technology in the decade[M]. Beijing: China University of Mining and Technology Press, 1998.(in Chinese))
- [2] 尾高英雄, 张满良, 岛山三树男. 关于荷载分散型锚杆及周围岩土层剪切应力的研究[C]// 程良奎, 刘启琛编. 岩土锚固工程技术的应用与发展. 北京: 万国学术出版社, 1996: 216 ~ 221.(ODAKA H, ZHANG Manliang, SIMAYMA M. Study of load dispersion-type anchor and bond stress in peripheral soils[C]// CHENG Liangkui, LIU Qichen ed. Application and Development of Anchorage Technology in Geotechnical Reinforcement Engineering. Beijing: Wanguo Academic Press, 1996: 216 ~ 221.(in Chinese))
- [3] 田裕甲. 压力分散型锚索与拉力型锚索的比较[J]. OVM 通讯, 2002, (3): 32 ~ 40.(TIAN Yujia. Decentralized pressure and tension-type cable anchor comparison[J]. OVM Information, 2002, (3): 32 ~ 40.(in Chinese))
- [4] 程良奎, 范景伦. 压力分散型(可拆芯式)锚杆的研究与应用[J]. 冶金工业部建筑研究总院院刊, 2000, (2): 1 ~ 8.(CHENG Liangkui, FAN Jinglun. The research and application of the pressure dispersion anchor bolt style(detachable core bar style)[J]. The General Publication of the Head Architecture Research Institute of Ministry of Metallurgical Industry, 2000, (2): 1 ~ 8.(in Chinese))
- [5] 曹兴松, 周德培. 压力分散型锚索锚固段的设计方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 9(9): 1 033 ~ 1 039.(CAO Xingsong, ZHOU Depei. Design method of fixed anchor unit for compression dispersion-type anchor[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 9(9): 1 033 ~ 1 039.(in Chinese))
- [6] 程良奎. 单孔复合锚固法的机制与实践[C]// 闫莫名, 徐祯祥, 苏自约编. 岩土锚固技术的新进展. 北京: 人民交通出版社, 2000: 1 ~ 6.(CHENG Liangkui. Single-hole composite of the Anchorage law and practice[C]// YAN Moming, XU Zhenxiang, SU Ziyue ed. Rock Anchoring of the New Technology Progress. Beijing: China Communications Press, 2000: 1 ~ 6.(in Chinese))
- [7] 程良奎, 韩 军. 单孔复合锚固法的理论和实践[J]. 工业建筑, 2001, 31(5): 35 ~ 38.(CHENG Liangkui, HAN Jun. Theory and practice of the single bore multiple anchor systems[J]. Industry Construction, 2001, 31(5): 35 ~ 38.(in Chinese))
- [8] 张 勇, 盛宏光, 丁巧爱, 等. 可回收锚索试验研究[R]. 洛阳: 总参工程兵科研三所, 2002.(ZHANG Yong, SHENG Hongguang, DING Qiaoi, et al. Testing study of removable anchor[R]. Luoyang: The 3rd Research Institute of Engineers of the General Staff, 2002.(in Chinese))
- [9] 李海民, 刘成洲, 李 鑫, 等. 大吨位压力分散型锚索的设计与应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(增 1): 2 284 ~ 2 289.(LI Haimin, LIU Chengzhou, LI Xin, et al. Design research and application of large tonnage dispersed compressive stress anchoring cables[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(Supp.1): 2 284 ~ 2 289.(in Chinese))
- [10] 柳建国, 吴 平, 尹华刚, 等. 压力分散型抗浮锚杆技术及其工程应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3 948 ~ 3 953.(LIU Jianguo, WU Ping, YIN Huagang, et al. Pressure-dispersive anti-float anchor technique and its application to engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(21): 3 948 ~ 3 953.(in Chinese))
- [11] 夏长华, 田学明. 压力分散型预应力锚索在高边坡加固中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, (4): 35 ~ 37.(XIA Changhua, TIAN Xueming. Application of compression decentralized prestressed cables in slop reinforcement[J]. Exploration Engineering(Drilling and Tunneling), 2006, (4): 35 ~ 37.(in Chinese))
- [12] 王兴国, 罗维宏, 李 鑫, 等. 压力分散型锚索在边坡工程中的设计与应用[J]. 公路, 2005, (7): 99 ~ 105.(WANG Xingguo, LUO Weihong, LI Xin, et al. Design and application of press decentralized anchor cables to slope protection works[J]. Highway, 2005, (7): 99 ~ 105.(in Chinese))
- [13] 刘玉堂, 张汉松, 张 勇, 等. 86 型预应力锚索系列的试验研究[R]. 洛阳: 总参工程兵科研三所, 1989.(LIU Yutang, ZHANG Hansong, ZHANG Yong, et al. 86 pre-stressed anchor cable series of tests study[R]. Luoyang: The 3rd Research Institute of Engineers of the General Staff, 1989.(in Chinese))